

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-024326

(43)Date of publication of application : 28.01.2003

(51)Int.Cl.

A61B 6/03  
G06T 1/00

(21)Application number : 2001-213297

(71)Applicant : SHIMADZU CORP

(22)Date of filing : 13.07.2001

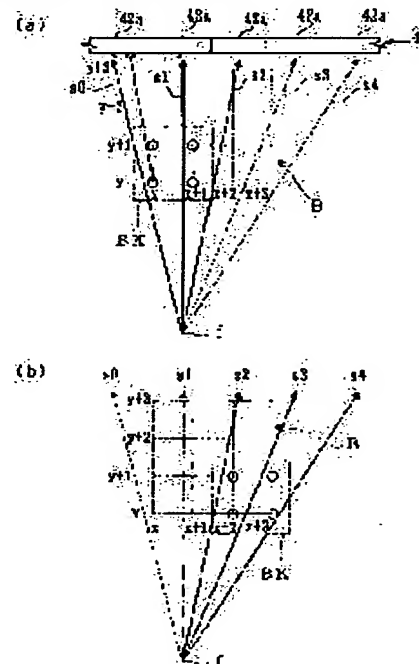
(72)Inventor : UKITA MASAOKI

## (54) TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION SOFTWARE, ITS RECORDING MEDIUM AND TOMOGRAPH

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a tomographic reconstruction software by which tomographic reconstitution calculation can be accelerated and to provide its recording medium and a tomograph.

**SOLUTION:** A tomographic reconstruction software synchronizes an X-ray tube (X-ray focal point  $f$ ) and an X-ray detector 42 with each other for scanning with a subject between them and makes a computer to perform inverse projection arithmetic for inversely projecting photographic data detected at each scanning position or data after filter-processing it to a two-dimensional or three-dimensional tomographic reconstruction area  $B$  virtually set to the concerned area of the subject by each divided area (block  $BK$ ) obtained by dividing the area  $B$ . Since the software is used, tomographic reconstruction calculation can be performed in order by each optimal area (block  $BK$ ) with consideration for a cache size, data recycling ratio in a cache memory is increased to reduce data access with a memory to reduce time for tomographic reconstruction calculation.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-24326  
(P2003-24326A)

(43) 公開日 平成15年1月28日 (2003.1.28)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I          | キーワード (参考)                             |
|---------------------------|-------|--------------|--|
| A 6 1 B 6/03              | 3 5 0 | A 6 1 B 6/03 | 3 5 0 T 4 C 0 9 3<br>3 5 0 V 5 B 0 5 7 |
| G 0 6 T 1/00              | 2 9 0 | G 0 6 T 1/00 | 2 9 0 B                                |

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2001-213297(P2001-213297)

(22) 出願日 平成13年7月13日 (2001.7.13)

(71) 出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72) 発明者 浮田 昌昭

京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会  
社島津製作所内

(74) 代理人 100093056

弁理士 杉谷 勉

Fターム(参考) 4C093 AA22 BA03 CA28 FE25 FF42

5B057 AA09 BA03 CA08 CA13 CA16

CB08 CB13 CB16 CC02 CE06

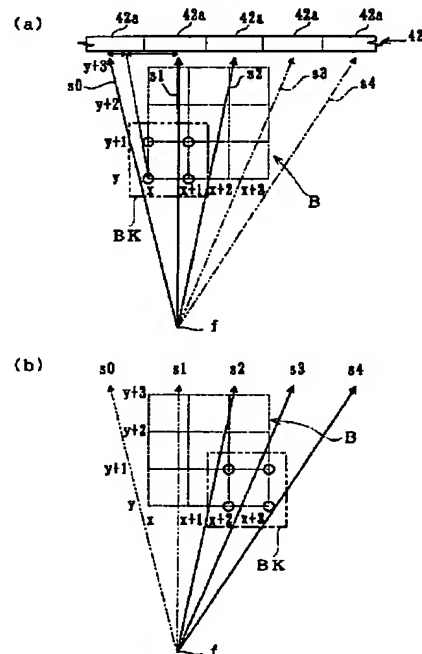
CE08 CE09 CH08 CH09

(54) 【発明の名称】 断層再構成ソフトウェアとその記録媒体と断層撮影装置

(57) 【要約】

【課題】 断層再構成計算を高速化できる断層再構成ソフトウェアとその記録媒体と断層撮影装置を提供する。

【解決手段】 被検体を挟んでX線管 (X線焦点  $f$ ) とX線検出器42とが同期されて走査され、走査各位置で検出された撮影データまたはそれをフィルター処理した後のデータを、被検体の関心領域に仮想的に設定される2次元または3次元の断層再構成領域  $B$  に逆投影する逆投影演算を、その領域  $B$  を分割した分割領域 (ブロック  $BK$ ) 毎にコンピュータに実行させる断層再構成ソフトウェアを用いるので、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域 (ブロック  $BK$ ) 毎に順番に行なえ、キャッシュメモリー内のデータ再利用率が増加し、メモリーとのデータアクセスを減少させ、断層再構成計算時間が短縮される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検体に対して透過性を有する電磁波を被検体に照射する照射源と、被検体を透過した電磁波を検出する検出器とが被検体を挟んで配置され、照射源と検出器が同期して被検体を走査するか、又は、被検体の回転に同期して走査することによって得られる走査各位置で検出された撮影データまたはそれをフィルター処理した後のデータを、被検体の関心領域に仮想的に設定される 2 次元または 3 次元の断層再構成領域に逆投影する逆投影演算を実行させるための断層再構成ソフトウェアにおいて、前記逆投影演算を、前記断層再構成領域を分割した分割領域毎に実行させることを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域の形態は、2 次元の断層再構成領域の場合には、正方形、長方形、三角形、ひし形、台形またはこれら以外の多角形状とし、3 次元の断層再構成領域の場合には、立方体、直方体、三角錐、円錐またはこれら以外の立体形状とすることを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域は、逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させることを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、個々の前記分割領域に対して、全走査各位置のうちの複数位置分の撮影データを連続して逆投影演算することを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 5】 請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域は、前記断層再構成領域の中心部とその周辺部とで大きさが異なるようにしていることを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 6】 請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域が隣接する順に連続して逆投影を行っていくことを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 7】 請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域内における複数個の逆投影点を、隣接する順に連続して逆投影していくことを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 8】 請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記撮影データをフィルター処理した後、補間を行わずそのまま前記分割領域に逆投影することを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 9】 請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記断層再構成領域の画素密度が、回転中心での検出器画素密度よりも高密度になるように細分化した拡大断層再構成領域である

ことを特徴とする断層再構成ソフトウェア。

【請求項 10】 請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを用いて逆投影演算を行なうことで、関心領域の 2 次元または 3 次元の再構成画像を生成する断層撮影装置。

【請求項 11】 請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、走査各位置の撮影データを断層再構成領域に逆投影する逆投影演算をコンピュータに実行させるための断層再構成ソフトウェアとそれを記録した記録媒体、および、医療分野、工業分野などに用いられる、被検体の断層撮影を行なって断層再構成する種々の断層撮影装置に係り、特に、撮影データをフィルター処理した後に行う逆投影演算（断層再構成計算）を高速化する技術に関する。

【0002】

20 【従来技術】従来の X 線断層撮影装置の構成を図 11 に示す。X 線管（X 線焦点 f）と、X 線検出素子が直線状に配列された X 線検出器 42 とが被検体を挟んで対向配置され、X 線管と X 線検出器 42 とを同期させて被検体の体軸周りに走査させて、X 線管の被検体への X 線照射角度を変えながら断層的な撮影を行う。得られた走査各位置の撮影データを、以下に説明する断層再構成法としての FBP（フィルタードバックプロジェクション：Filtered Back Projection）することで、被検体の関心部位の断層再構成画像を生成している。この FBP とは、被検体を各角度から撮影した複数枚の撮影データをフィルターで補正処理したデータ S を、被検体の関心領域に仮想的に設定される 2 次元の断層再構成領域 B に逆投影（Back Projection）する方法である。

【0003】つまり、断層再構成領域 B の点 b（x, y）の再構成画素値を求めるためには、p 回目の撮影データをフィルターで補正したデータ S のうちの点 b（x, y）の投影に相当する座標 t（x, y, p, . . .）の点 s（t（x, y, p, . . .））を投影回数（Np 回）分積算していく計算で、次に示す式（1）で表される。

【0004】

【数 1】

$$b(x, y) = \sum_{p=0}^{Np-1} s(t(x, y, p, . . .))$$

【0005】ただし、t は通常では整数とならないので、配列である s の点 s（t（x, y, p, . . .））を直接求めることはできず、図 12 に示すように、近傍 2 点を使った補間計算を行ってから積算していく。この式を式（2）として以下に示す。

【0006】

【数2】

$$b(x, y) = \sum_{p=0}^{Np-1} \{(1-a) \times s(u) + a \times s(u+1)\}$$

【0007】上記の式(2)のような積算をコンピューターで行う場合は、以下の式(3)に示すような計算を、\* 投影回数(N<sub>p</sub>回)分実行することになる。

$$b(x, y) = b(x, y) + (1-a) \times s(u) + a \times s(u+1) \quad \dots\dots (3)$$

【0009】上記の式(3)に関する従来のプログラムコード例を図13に示す。ただし、 $u = \text{INT}(t(x, y, p, \dots))$ 、 $a = t(x, y, p, \dots) - u$ で、関数「 $t(x, y, p, \dots)$ 」は逆投影される元データ座標を浮動小数点で計算する関数、関数「 $\text{INT}()$ 」は小数点以下を切り捨てて整数化する関数である。以上のような再構成計算は、非常に時間がかかるため、専用のDSPボードなどで計算させるのが普通である。しかし、近年のパソコン(以下、適宜に「パソコン」と略称する)の高速化に伴って、このような再構成計算をパソコンで行うようにした断層撮影装置が考案されるようになってきている。

【0010】最近のパソコンは、CPU(中央演算処理装置)と、メモリと、ハードディスク(HD)やI/O(入出力ポート)やキーボードやマウスなどの周辺機器から構成されている。そして、通常HDにソフトウェアやデータを記録しておき、必要になったとき、メモリ上に読み出されて、CPUで処理が行われる。また、最近のCPUチップはメモリより高速に動作し、この高速性を発揮するために、CPUとメモリとの間にキャッシュメモリと呼ばれる高速なメモリを入れた構成にする改良が行われて、性能が改善されたものとなっている。キャッシュメモリは、CPUの半導体チップ上に構成されることが多く、キャッシュメモリも含めたものをCPUと呼ぶことが多い。ただし、キャッシュメモリは、高速性が必要とされるためメインメモリに比べて高価であるために記憶容量を小さく抑えられている。このキャッシュメモリの動作について説明する。CPUは、必要なプログラムやデータがキャッシュメモリに無い時、自動的にメモリからキャッシュメモリに読み込むように動作し、その間CPUは別の仕事ができるので、全体の効率が上がるように動作する。また、キャッシュメモリが一杯になると、アクセスされていないデータから順にメモリに書き出されたり、内容が上書きされていない場合は、単に廃棄されたりしてキャッシュメモリの内容は常にCPUが必要とする最新のデータで満たされるようになっていく。

【0011】現時点での比較的高性能なパソコンの場合、20Gbyte(ギガバイト)容量のHD、1Gbyteのメモリ、CPU動作クロックが400MHz(メガヘルツ)で512Kbyte(キロバイト)のキャッシュメモリを持つものがある。このようなパソコンでは、CP

Uとキャッシュメモリ間の読み書き性能が3200Mbyte/sec(メガバイト/秒)、キャッシュメモリとメモリ間の読み書き性能が800Mbyte/sec程度の性能を持っている。4byteで表される浮動小数点データの転送時間に直すと、CPUとキャッシュメモリ間の読み書き時間が1.25nsec/float、キャッシュメモリとメモリ間の読み書き時間が5nsec/floatとなりキャッシュメモリは4倍ほど高速である。

【0012】浮動小数点(4byte)の値をもつ512×512画素の画像データ(1Mbyte)の全画素の加算計算を例に、キャッシュ動作を単純化した例示計算で説明しておく。画像データは、上記の512Kbyteのキャッシュメモリには入りきらず、画像データ前半の512Kbyteがキャッシュメモリに512kbyte/800Mbyte=640μsecで読み込まれながら、CPUで加算されていく。ただし、キャッシュメモリとCPU間のデータ転送時間は512kbyte/3200Mbyte=160μsecと高速なので、CPUは640-160=480μsec間は何もしていない状態である。次に、画像データ後半の512KbyteをCPUが要求しはじめると、画像データ前半のデータが古いものから順に置き換わっていき、512kbyte/800Mbyte=640μsec後には、キャッシュメモリは画像データ後半の512Kbyteに置き換わっている。しかし、前記同様480μsec間は何もしていない状態である。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来例の場合には、次のような問題がある。すなわち、最近のパソコンはメモリアクセスに関してキャッシュメモリのような工夫がされているにもかかわらず、図13に示すように「x軸方向に計算後、y軸方向に計算する」ことを撮影データ分(N<sub>p</sub>回分)行うことしかされていないので、CPUの計算性能を引き出すことができず、以下に説明するように断層再構成計算に時間がかかるという問題がある。以下に、2次元および3次元の断層再構成の場合について具体的に説明する。

【0014】まず、2次元の断層再構成の場合における、計算のために必要なデータの読み書き回数と時間について説明する。

【0015】前述の式(3)で1回の逆投影の1点の断層再構成計算のために必要なメモリアクセス回数を求める。断層再構成する断層再構成領域Bの点(x, y)の値b(x, y)は、1回読み込まれた後、加算され

10

20

30

40

50

て、書き出されるので、メモリアクセスは2回必要である。フィルタ補正後の撮影データSについては、補間のため、2個読み出すので、元データの読み出し回数=2回でメモリアクセスは2回必要である。合計で4回(2回+2回=4回)のメモリアクセスが必要である。

【0016】次に、 $N_x \times N_y$ の大きさの断層再構成領域Bに対する1回の逆投影では、 $N_x \times N_y \times 4$ 回のメモリアクセスが必要である。さらに、 $N_p$ 回の逆投影を行うとすると、断層再構成のためには合計で、 $N_x \times N_y \times 4 \times N_p$ 回のメモリアクセスが必要である。また、通常、データは計算中においては浮動小数点で表されるので、4 byteであるから、 $N_x \times N_y \times 4 \times N_p \times 4$  byteのメモリアクセス量が必要である。

【0017】ここで、2次元断層再構成のためのメモリアクセス時間を、前記の比較的高性能なパソコンを用いた場合について説明する。例えば、 $N_x = 512$ ,  $N_y = 512$ の断層再構成領域Bに対して、 $N_p = 1800$ 回の逆投影を行う場合、メモリアクセス量= $N_x \times N_y \times 4 \times N_p \times 4$  byte= $512 \times 512 \times 4 \times 1800 \times 4 = 7,549,747,200$  byteとなり、メモリの転送速度が800 Mbyte/secなので、9.437 secの時間が必要であり、長い時間が必要であることがわかる。ただし、キャッシュメモリとCPU間のデータ転送時間は4倍高速なので9.437 secのうち75%はCPUの空き時間になっていると思われ、たいへんな無駄が発生している。

【0018】上述と同様な考え方により、3次元の断層再構成の場合における、計算のために必要なデータの読み書き回数と読み書き時間について説明する。前述の式(3)はほぼ同じで、近傍4点からの補間が行われるとすると、1点の計算のためには、断層再構成する断層再構成領域の点(x, y, z)の値b(x, y, z)は、1回読み込まれた後、加算されて、書き出されるので、メモリアクセスは2回必要である。フィルタ補正後の撮影データSについては、補間のため、4個読み出すので、元データの読み出し回数=4回でメモリアクセスは4回必要である。合計で6回(2回+4回=6回)のメモリアクセスが必要である。

【0019】次に、 $N_x \times N_y \times N_z$ の大きさの断層再構成領域に対する1回の逆投影では、 $N_x \times N_y \times N_z \times 6$ 回のメモリアクセスが必要である。 $N_p$ 回の逆投影を行うとすると、断層再構成のためには合計で、 $N_x \times N_y \times N_z \times 6 \times N_p$ 回メモリアクセスが必要である。また、通常、データは計算中においては浮動小数点で表されるので、4 byteであるから、 $N_x \times N_y \times N_z \times 6 \times N_p \times 4$  byteのメモリアクセス量が必要である。

【0020】ここで、3次元の断層再構成のためのメモリアクセス時間を、前記の比較的高性能なパソコンを

用いた場合について求める。例えば、 $N_x = 512$ ,  $N_y = 512$ ,  $N_z = 512$ の断層再構成領域に対して、 $N_p = 512$ 回の逆投影を行う場合、メモリアクセス量= $N_x \times N_y \times N_z \times 6 \times N_p \times 4$  byte= $512 \times 512 \times 512 \times 6 \times 512 \times 4 = 1,649,267,441,664$  byteとなり、メモリの転送速度を800 Mbyte/secとすると、2061.5843 secの時間が必要であり、長い時間が必要であることがわかる。ただし、キャッシュメモリとCPU間のデータ転送時間は4倍高速なので2061.5843 secのうち75%はCPUの空き時間になっていると思われ、たいへんな無駄が発生している。

【0021】この発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、断層再構成計算を高速化できる断層再構成ソフトウェアと断層撮影装置を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、発明者が鋭意研究をした結果、次のような知見を得た。すなわち、逆投影演算(断層再構成計算)は、単純な積算計算であるが、同じデータ領域を何度も読み書きするために、メモリアクセス回数が膨大であるという特徴がある。この特徴に基づいて、断層再構成計算を行う順序を変えること、つまり、データのアクセス順序をキャッシュサイズを考慮した最適な順番に変更することで、データのキャッシュメモリからの再利用率を増加させることができ、CPUとメモリ間のデータアクセス回数と時間を減少させることができ、断層再構成計算時間を短縮できるということを見出したのである。

【0023】このような知見に基づくこの発明は次のような構成を採る。すなわち、請求項1に記載の断層再構成ソフトウェアは、被検体に対して透過性を有する電磁波を被検体に照射する照射源と、被検体を透過した電磁波を検出する検出器とが被検体を挟んで配置され、照射源と検出器が同期して被検体を走査するか、又は、被検体の回転に同期して走査することによって得られる走査各位置で検出された撮影データまたはそれをフィルタ処理した後のデータを、被検体の関心領域に仮想的に設定される2次元または3次元の断層再構成領域に逆投影する逆投影演算を実行する断層再構成ソフトウェアにおいて、前記逆投影演算を、前記断層再構成領域を分割した分割領域毎に実行させることを特徴とするものである。

【0024】また、請求項2に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域の形態は、2次元の断層再構成領域の場合には、正方形、長方形、三角形、ひし形、台形またはこれら以外の多角形状とし、3次元の断層再構成領域の場合には、立方体、直方体、三角錐、円錐またはこれら以外の立体形状とすることを特徴とするもので

ある。

【0025】また、請求項3に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域が逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させることを特徴とするものである。

【0026】また、請求項4に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1に記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、個々の前記分割領域に対して、全走査各位置のうちの複数位置分の撮影データを連続して逆投影演算す

ることを特徴とするものである。

【0027】また、請求項5に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1から請求項4のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域は、前記断層再構成領域の中心部とその周辺部とで大きさが異なるようにしていることを特徴とするものである。

【0028】また、請求項6に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1から請求項5のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域が隣接する順に連続して逆投影を行っていくことを特徴とするものである。

【0029】また、請求項7に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1から請求項6のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記分割領域内における複数の逆投影点を、隣接する順に連続して逆投影していくことを特徴とするものである。

【0030】また、請求項8に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1から請求項7のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記撮影データをフィルタ処理した後、補間を行わずそのまま前記分割領域に逆投影することを特徴とするものである。

【0031】また、請求項9に記載の断層再構成ソフトウェアは、請求項1から請求項8のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアにおいて、前記断層再構成領域の画素密度が、回転中心での検出器画素密度よりも高密度になるように細分化した拡大断層再構成領域であることを特徴とするものである。

【0032】また、請求項10に記載の断層撮影装置は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを用いて逆投影演算を行なうことで、関心領域の2次元または3次元の再構成画像を生成するものである。

【0033】また、請求項11に記載の記録媒体は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0034】

【作用】この発明の作用は次の通りである。すなわち、請求項1に記載の発明によれば、被検体に対して透過性を有する電磁波を被検体に照射する照射源と、被検体を

透過した電磁波を検出する検出器とが被検体を挟んで配置され、照射源と検出器が、同期して被検体を走査するか、又は、被検体の回転に同期して走査することによって得られる走査各位置で検出された撮影データまたはそれをフィルタ処理した後のデータを、被検体の関心領域に仮想的に設定される2次元または3次元の断層再構成領域に逆投影する逆投影演算を、その断層再構成領域を分割した分割領域毎に実行させる断層再構成ソフトウェアを用いる。したがって、逆投影演算（断層再構成計算）を分割領域毎に行っていく、つまり、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域（分割領域）毎に順番に行っていくことで、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を増加させることができ、メモリとのデータアクセスを減少させることができ、断層再構成のためのデータ転送時間合計が短縮され、断層再構成計算時間が短縮される。

【0035】また、請求項2に記載の発明によれば、分割領域の形態は、2次元の断層再構成領域の場合には、正方形、長方形、三角形、ひし形、台形またはこれら以外の多角形状とし、3次元の断層再構成領域の場合には、立方体、直方体、三角錐、円錐またはこれら以外の立体形状とする。したがって、分割領域が、キャッシュサイズを考慮した適切な形状に設定される。

【0036】また、請求項3に記載の発明によれば、分割領域は逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させるので、ほとんどの逆投影方向においても、キャッシュメモリ内のデータ再利用率がほぼ一定に確保でき、断層再構成計算時間が短縮される。

【0037】また、請求項4に記載の発明によれば、個々の分割領域に対して、全走査各位置のうちの複数位置分の撮影データを連続して逆投影演算する。したがって、断層再構成領域の分割領域に、複数枚の撮影データの分割領域に対応する部分を逆投影していくことで、キャッシュメモリ内のデータ再利用率をさらに増加させることができ、さらに断層再構成計算時間が短縮される。

【0038】また、請求項5に記載の発明によれば、分割領域は、断層再構成領域の中心部とその周辺部とで大きさが異なるようにしている。したがって、断層再構成領域の分割領域位置によって必要なキャッシュメモリサイズが極端に増大して、逆投影演算時間が極端に増大することを低減でき、断層再構成時間を分割領域位置に依らずほぼ一定に短縮できる。

【0039】また、請求項6に記載の発明によれば、分割領域を隣接する順に連続して逆投影を行っていくので、キャッシュメモリ内のデータ再利用率をさらに増加させることができ、断層再構成計算時間が短縮される。

【0040】また、請求項7に記載の発明によれば、分

割領域内における複数の逆投影点を、隣接する順に連続して逆投影していくので、好適な順番で断層再構成計算が行われ、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を確保させることができ断層再構成計算時間が短縮される。

【0041】また、請求項8に記載の発明によれば、撮影データをフィルター処理した後、補間を行わずそのまま分割領域に逆投影する。したがって、補間のためのデータの読み込みが減少するので断層再構成計算時間が短縮される。

【0042】また、請求項9に記載の発明によれば、断層再構成領域の画素密度が、回転中心での検出器画素密度よりも高密度になるように細分化した拡大断層再構成領域としている。したがって、拡大断層再構成領域を分割した分割領域内の逆投影点数は増えることになるが、取り扱う撮影データ、つまり、撮影データの分割領域に対応する部分のデータは同じで増加しないし、このデータを用いて増加させた逆投影点にも逆投影していくので、キャッシュ効果が高くなり、断層再構成計算を高速に行なうことができる。

【0043】また、請求項10に記載の発明によれば、断層撮影装置は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを用いて逆投影演算を行なうことで、関心領域の2次元または3次元の再構成画像を生成する。したがって、逆投影演算（断層再構成計算）を分割領域毎に行っていくこと、つまり、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域（分割領域）毎に順番に行っていくことで、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を増加させることができ、CPUとメモリー間のデータアクセスを減少させるので、断層再構成のためのデータ転送時間合計が短縮され、断層再構成計算時間が短縮され、断層再構成計算を高速化した断層撮影装置が得られる。

【0044】また、請求項11に記載の発明によれば、記録媒体は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。したがって、この記憶媒体を、必要とするコンピュータなどの処理演算装置にロードすることで、断層再構成計算を高速化することができ、この高速化した断層再構成ソフトウェアの供給の自由度を向上させることができる。

【0045】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の断層撮影装置に係る一実施例としてのX線断層撮影装置について、図面を参照しながら説明する。

【0046】＜第1実施例＞図1は、この発明のX線断層撮影装置の第1実施例に係るブロック図である。この第1実施例のX線断層撮影装置は、種々の情報および命令を入力する操作部10と、これら入力された情報および命令に基づいてX線撮影など装置全体を制御する撮影

装置制御部20と、この撮影装置制御部20により制御されながら撮影部40を駆動させる駆動部30と、被検体Mの関心領域を撮影する撮影部40と、この撮影部40から検出された画像情報を収集する画像収集部50と、この画像収集部50からの画像情報に基づいて被検体Mの関心領域の断層画像を生成する画像再構成など所定の画像処理を行って記憶するコンピュータとしての画像処理部60と、この画像処理部60で処理された画像情報を出力表示するモニター70とを備えている。撮影部40は、X線を被検体Mに照射するためのX線管41と、被検体Mを透過したX線を検出するX線検出器42とを備えている。また、X線管41は、高電圧発生器43により、管電流や管電圧など必要な電源電圧が供給されるようになっており、コリメータやスリットを取り付ける事によってファンビーム形状やコーンビーム形状のX線束を被検体Mに照射する。

【0047】撮影装置制御部20は、撮影装置全体をコントロールしており、例えば、専用のハードウェアやワークステーションやパソコンなどに装置制御ソフトウェアなどを搭載することで構成されている。この撮影装置制御部20に接続された操作部10（キーボードやマウスやボタンなど）を使用者が操作することで、各種のX線データを収集・表示できるようになっている。例えば、X線管41と高電圧発生器43とをコントロールしてX線を発生させると同時に、被検体Mを透過したX線がX線検出器42で電気信号に変換後、画像収集部50でAD（アナログデジタル）変換してX線透過データとなり、このX線透過データを画像処理部60で所定の画像処理を行った後、画像表示部70（CRTや液晶ディスプレイなど）に適宜に表示させるような事ができるようになっている。さらに、断層撮影時には、X線管41とX線検出器42又は、被検体Mを機械的に動かして所望のX線透過データを多数収集するという走査を行うようになっている。2次元CT（Computed Tomography）であるとか3次元CTであるとかというような断層撮影装置の特徴を外観上で決めているのは撮影部40であり、断層再構成方法により機械的な構成が異なっている。この断層再構成方法に応じた断層再構成計算法は、画像処理部60の一部の機能として、DSP（デジタルシグナルプロセッサ）などを用いた専用のハードウェアで実現される事が多いが、本発明を用いたパソコンで実現する事も可能である。

【0048】撮影部40を具体化したX線断層撮影装置として、医療用X線CT装置について説明する。この医療用X線CT装置は、上述したX線断層撮影装置の構成を基本的に備えており、特に、撮影部40が図2に示すように構成されている。図2（a）はX線断層撮影装置の撮影部の一例を示す模式図であり、図2（b）は（a）に示した撮影部の外観を示す概略斜視図である。

【0049】ガントリ部44の内部に配置されたX線管

41およびX線検出器42が、天板45に載置された被検体Mの体軸(図2(a)の紙面に垂直な軸)周りに一体となって回転するように対向配置されている。なお、上述したX線管41はこの発明における照射源に相当し、上述したX線検出器42はこの発明における検出器に相当する。

【0050】この装置による断層撮影時において、X線管41およびX線検出器42を1回転させる間に何回の撮影を行なうかを表すビュー数は、被検体Mの関心領域を撮影する前に、操作部10から与えられる。与えられたビュー数が1800であるとすると、全走査360度に対して、0.2度(=360度/1800)回転する毎の走査各位置(各投影位置)におけるX線透過データを画像処理部60に蓄積していった断層撮影を行うことになる。

【0051】この装置による断層再構成時には、画像処理部60に蓄積される1800ライン分の断層撮影データが各種補正処理後、再構成のためのフィルター処理をした逆投影データSとして、画像処理部60で実行させる断層再構成処理に使用される。すなわち、被検体Mの体軸と交差する断面上の関心領域に設定される2次元の断層再構成領域Bに対して、逆投影データSを逆投影して、断層像を得るのである。この時の逆投影角度は、収集時の投影角度に等しく、0.2度毎であり、逆投影を1800回行う事で断層再構成像が出来上がる。上記例の1800回の投影のうちの1回の投影について、投影と逆投影の関係を図3(a)に示す。X線管41のX線焦点fとX線検出器42の各X線検出素子42aの中心を結ぶ直線は、X線焦点fから照射されて再構成領域B内の被検体Mを透過後、X線検出器42の各X線検出素子中心42aで検出されるX線投影データの進路を表しており、矢印の向きが投影方向を表している。同時に、矢印の向きとは反対の方向が逆投影方向となり、各X線\*

\*検出素子中心42aからX線焦点fに向かう方向に逆投影が行われる。以降の説明では、この直線を逆投影データSのうち、各X線検出素子に対応する逆投影データs0, s1, s2, s3などと呼ぶことにする。

【0052】2次元の断層再構成領域Bとして、512(X軸方向)×512(Y軸方向)の再構成領域に対して、本発明の請求項1、2を適用した例を図4(a)に示す。紙面に○で示す逆投影点をすべて2×2の正方形のブロックBKに分割し、各ブロックBKごとに逆投影演算を行っていくことになる。つまり、図3(a)に示すように、2次元の断層再構成領域Bのうちの逆投影点b(x, y), b(x+1, y), b(x, y+1), b(x+1, y+1)を1つのブロックBKとし、このブロックBK内の逆投影演算を行った後に、このブロックBKに隣接する次のブロックBK(例えば、図3(b)に示すように2次元の断層再構成領域Bのうちの逆投影点b(x+2, y), b(x+3, y), b(x+2, y+1), b(x+3, y+1)で構成されるブロック)に移行し、このブロックBK内の逆投影演算を行ない、さらに次のブロックBKに移行して逆投影演算を行なうということを繰り返していくのである。

【0053】本発明の請求項1に相当する断層再構成ソフトウェアは、図4(b)に示すようなプログラムコードであらわすことができるが、各ブロックBK内での逆投影演算を行っていく動作について、計算式を用いて説明する。図3(a)に示すように、2次元の断層再構成領域Bのうちの逆投影点b(x, y), b(x+1, y), b(x, y+1), b(x+1, y+1)で構成されるブロックBKについて逆投影演算を行う、すなわち、このブロックBK内の逆投影点(4点)を連続して断層再構成計算を進める時、計算は以下の順序で行われる。

【0054】

$$b(x, y) = b(x, y) + (1 - a_{00}) * s_0 + a_{00} * s_1 \quad \dots (4)$$

$$b(x+1, y) = b(x+1, y) + (1 - a_{10}) * s_1 + a_{10} * s_2 \quad \dots (5)$$

$$b(x, y+1) = b(x, y+1) + (1 - a_{00}) * s_0 + a_{00} * s_1 \quad \dots (6)$$

$$b(x+1, y+1) = b(x+1, y+1) + (1 - a_{10}) * s_1 + a_{10} * s_2 \quad \dots (7)$$

【0055】最初に計算される式(4)の各データは、メモリーからキャッシュメモリー内に読み出された後にCPUで計算される。したがって、2番目に計算される式(5)においては、式(4)と共通なデータs1はキャッシュメモリーから読み出される。上記式(4)～(7)において、キャッシュメモリーから読み出されるデータを列挙すると、式(5)のデータs1、式(6)のデータs0, s1、式(7)のデータs1, s2となり、1ブロック当たり5個のデータがキャッシュメモリー

ーから読み出される事になる。実際には、式(4)の左辺のデータb(x, y)、式(5)の左辺のデータb(x+1, y)、式(6)の左辺のデータb(x, y+1)、式(7)の左辺のデータb(x+1, y+1)の書き出しもキャッシュされるが、これらは結果としていずれメモリーに書き出さなければならないのでキャッシュされないとしている。

【0056】なお、図3(a)からもわかるように、図3(a)に示すブロックBKの逆投影演算には、s0～

s 2のみ必要であるので実線で図示しており、s 3、s 4は図3(a)に示すブロックBKでは不必要であるので2点鎖線で図示している。X線検出素子42aで検出されたs 0～s 2を補間処理した値をこのブロックBKに逆投影する。また、図3(b)に示すブロックBKの逆投影演算には、s 2～s 4のみ必要であるので実線で図示しており、s 0、s 1は図3(b)に示すブロックBKでは不必要であるので2点鎖線で図示している。

【0057】ここで、式(4)～(7)であらわされる1ブロック内の1回の逆投影演算におけるデータアクセス時間を求める。まず、bの読み込みが4回、書き出しが4回であり、sの読み込みが8回あり、そのうち同じデータの読み込みは5回ありキャッシュメモリから読み出される。従って、例示したパソコンのCPUでのデータアクセス時間は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} b(x, y) &= b(x, y) + (1-a_{00}) * s_0 + a_{00} * s_1 & \text{..... (8)} \\ b(x+1, y) &= b(x+1, y) + (1-a_{10}) * s_1 + a_{10} * s_2 & \text{..... (9)} \\ b(x+2, y) &= b(x+2, y) + (1-a_{20}) * s_2 + a_{20} * s_3 & \text{..... (10)} \\ b(x+3, y) &= b(x+3, y) + (1-a_{30}) * s_3 + a_{30} * s_4 & \text{..... (11)} \end{aligned}$$

【0061】なお、式(9)のデータs 1、式(10)のデータs 2、式(11)のデータs 3は、キャッシュメモリ内にあると考えられるデータである。実際には、式(8)の左辺のデータb(x, y)、式(9)の左辺のデータb(x+1, y)、式(10)の左辺のデータb(x+2, y)、式(11)の左辺のデータb(x+3, y)の書き出しもキャッシュされるが、これらは結果としていずれメモリに書き出さなければならないのでキャッシュされないとしている。

【0062】ここで、この従来例でのデータのアクセス回数は、bの読み込みが4回、書き出しが4回であり、sの読み込みが8回で、そのうち同じデータの読み込みは3回ありキャッシュメモリから読み出される。従って、データアクセス時間は以下になる。

【0063】データアクセス時間 =  $5 \text{ nsec} / \text{float} \times 8 \text{ 回} + 5 \text{ nsec} / \text{float} \times (8 \text{ 回} - 3 \text{ 回}) + 1.25 \text{ nsec} / \text{float} \times 3 \text{ 回} = 68.75 \text{ nsec}$

【0064】上述した第1実施例と従来例とのデータアクセス時間の算出結果より、第1実施例では、従来例と比べて、 $68.75 / 61.25 = 1.12$ 倍高速にアクセスできたことになり、高速化されていることがわかる。

【0065】一般に、従来例計算順序での $n \times n$ 点の断層再構成時間のためのアクセス時間合計は、 $T_{old} = 5 \times (2 \times n \times n) + 5 \times (n \times n + 1) + 1.25 (2 \times n \times n - (n \times n + 1))$ となる。これに対して、第1実施例の正方形ブロック化の場合での $n \times n$ 点の断層

\* 【0058】データアクセス時間 =  $5 \text{ nsec} / \text{float} \times 8 \text{ 回} + 5 \text{ nsec} / \text{float} \times (8 \text{ 回} - 5 \text{ 回}) + 1.25 \text{ nsec} / \text{float} \times 5 \text{ 回} = 61.25 \text{ nsec}$

【0059】従来例での逆投影演算は、図14に示すように、断層再構成領域Bのx軸方向の一系列分(例えば、逆投影点b(x, y)～b(x+511, y))について逆投影演算を行ってから、y軸方向に1列分更新して次のx軸方向の一系列分(例えば、逆投影点b(x, y+1)～b(x+511, y+1))について逆投影演算を行なうというようにしてy軸方向に逆投影演算を行っている。ここでは説明の便宜上、逆投影点を4点とし、この場合について、以下に示す順序で計算を行っている。

【0060】

再構成時間のためのアクセス時間合計は、 $T_1 = 5 \times (2 \times n \times n) + 5 \times (n + 1) + 1.25 (2 \times n \times n - (n + 1))$ となる。この比は、 $n = 2 \sim 256$ の範囲で、1.12～1.30となり、高速化の効果がある。また、ブロックBKを正方形としているので、逆投影方向の影響を受けにくい、すなわち、走査各位置からブロックBKを見た場合にその形状が大きく変わらないので計算に使用するs 0～s 2などのデータ数がほぼ一定であるという特徴もあり、計算時間が一定している。

【0066】以上、上述した第1実施例では、走査各位置で検出された撮影データをフィルター処理した後、被検体Mの関心領域に仮想的に設定される2次元の断層再構成領域Bに逆投影する逆投影演算を、その断層再構成領域Bを分割した分割領域としてのブロックBK毎に画像処理部60に実行させる断層再構成ソフトウェアを用いるので、逆投影演算(断層再構成計算)をブロックBK毎に行っていく、つまり、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域(ブロックBK)毎に順番に行っていくことができ、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を増加させることができ、メモリとのデータアクセスを減少させることができ、断層再構成のためのデータ転送時間合計を短縮することができ、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0067】また、請求項6にあるように、ブロックBKを隣接する順に連続して逆投影を行っていくので、キャッシュメモリ内のデータ再利用率をさらに増加させることができ、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0068】また、請求項7にあるように、ブロックBK内における複数個の逆投影点を、隣接する順に連続して逆投影していくので、好適な順番で断層再構成計算を行なうことができ、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を確保させることができ断層再構成計算時間を短縮できる。

【0069】この第1実施例の断層撮影装置は、前述した断層再構成ソフトウェアを用いて逆投影演算を行なうことで、関心領域の2次元再構成画像を生成するので、逆投影演算(断層再構成計算)を分割領域としてのブ

ロックBK毎に行っていく、つまり、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域(ブロックBK)毎に順番に行っていくことができ、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を増加させることができ、メモリとのデータアクセスを減少させることができ、断層再構成のためのデータ転送時間合計を短縮でき、断層再構成計算時間を短縮でき、断層再構成計算を高速化した断層撮影装置を得ることができる。

【0070】<第2実施例>本発明の請求項3に係る第2実施例のX線CT装置について説明する。第2実施例のX線CT装置は、前述の第1実施例の画像処理部60の断層再構成ソフトウェア以外については、前述の第1実施例と同様であるので、この第2実施例の断層再構成ソフトウェアについて詳細に説明するものとする。

【0071】前述の第1実施例の断層再構成ソフトウェアでは、断層再構成領域Bを分割したブロックBKの形状を正方形としていたが、この第2実施例の断層再構成ソフトウェアでは、このブロックBKの形状を逆投影方向に長い長方形としている。

【0072】この画像処理部60は、図5(a)に示すように、2次元の断層再構成領域Bを、紙面に○で示す2×4の逆投影点で構成される長方形のブロックBKに分割し、各ブロックBKごとに1回の逆投影演算を行っていく。つまり、図5(a)に示すように、2次元の断層再構成領域Bのうちの逆投影点b(x, y), b(x+1, y), b(x, y+1), b(x+1, y+1), b(x, y+2), b(x+1, y+2), b(x, y+3), b(x+1, y+3)を1つのブロックBKとし、このブロックBKに1回の逆投影演算を行った後に、このブロックBKに隣接する次のブロックBK(例えば、図5(b)に示すように2次元の断層再構成領域Bのうちの逆投影点b(x+2, y), b(x+3, y), b(x+2, y+1), b(x+3, y+1), b(x+2, y+2), b(x+3, y+2), b(x+2, y+3), b(x+3, y+3)で構成されるブロック)に移行し、このブロックBKに1回の逆投影演算を行ない、さらに次のブロックBKに移行して逆投影演算を行なうということを繰り返していくのである。

【0073】なお、図5(a)からもわかるように、図

5(a)に示すブロックBKの逆投影演算には、s0～s2のみ必要であるので実線で図示しており、s3, s4は図5(a)に示すブロックBKでは不必要であるので2点鎖線で図示している。X線検出素子42aで検出されたs0～s2を補間処理した値をこのブロックBKに逆投影する。また、図5(b)に示すブロックBKの逆投影演算には、s2～s4のみ必要であるので実線で図示しており、s0, s1は図5(b)に示すブロックBKでは不必要であるので2点鎖線で図示している。

【0074】なお、前述の第1実施例では、逆投影点が4点である場合について、従来例と比較したが、ここでは逆投影点が8点であるブロックBKを採用した第2実施例と、従来例や第一実施例を比較する。

【0075】従来例でのデータのアクセス回数は、bの読み込みが8回、書き出しが8回であり、sの読み込みが16回で、そのうち同じデータの読み込みは7回ありキャッシュメモリから読み出される。従って、データアクセス時間は以下ようになる。

【0076】データアクセス時間 =  $5 \text{ nsec} / \text{float} \times 16 \text{ 回} + 5 \text{ nsec} / \text{float} \times (16 \text{ 回} - 7 \text{ 回}) + 1.25 \text{ nsec} / \text{float} \times 7 \text{ 回} = 133.75 \text{ nsec}$

【0077】これに対して、この第2実施例でのデータのアクセス回数は、bの読み込みが8回、書き出しが8回であり、sの読み込みが16回で、そのうち同じデータの読み込みは13回ありキャッシュメモリから読み出される。従って、データアクセス時間は以下ようになる。

【0078】データアクセス時間 =  $5 \text{ nsec} / \text{float} \times 16 \text{ 回} + 5 \text{ nsec} / \text{float} \times (16 \text{ 回} - 13 \text{ 回}) + 1.25 \text{ nsec} / \text{float} \times 13 \text{ 回} = 111.25 \text{ nsec}$

【0079】上述した第2実施例と従来例とのデータアクセス時間の算出結果より、この第2実施例では、従来例と比べて、 $133.75 / 111.25 = 1.2$ 倍高速にアクセスできたことになり、高速化されていることがわかる。

【0080】さらに、前述の第1実施例の逆投影点が4点である正方形のブロックBKでのデータアクセス時間は、 $61.25 \text{ nsec}$ であったので、1点あたりのデータアクセス時間は、 $61.25 \text{ nsec} / 4 = 15.31 \text{ nsec}$ となるが、この第2実施例では1点あたりのデータアクセス時間は、 $111.25 \text{ nsec} / 8 = 13.91 \text{ nsec}$ となり、前述の第1実施例と比べて、 $15.31 / 13.91 = 1.1$ 倍高速にアクセスできたことになり、前述の第1実施例よりも高速化されていることがわかる。

【0081】なお、上述の第2実施例の長方形のブロックBKは、2次元の断層再構成領域Bに対して常に一方方向に揃えられたままであると、逆投影方向の影響を受ける、すなわち、走査各位置からブロックBKを見た場合にその形状が大きく変わってしまう。つまり、図5

(a)ではy方向に逆投影している状態を示しており、

$s_0 \sim s_2$ のみでブロックBKに逆投影できるが、 $x$ 方向に逆投影する場合にはブロックBKが逆投影方向( $x$ 方向)よりも $y$ 方向に長い横長になるので、 $s_0 \sim s_2$ よりも多くのデータ $s_0 \sim s_4$ が必要になり、メモリーとのデータアクセスが図5(a)の状態よりも増加してしまうことになる。そこで、図6に示すように、ブロックBKを、逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させるようにする。この点も、前述の第1実施例と異なっており、第2実施例の特徴である請求項3に相当するものである。

【0082】図6に示す範囲C、すなわち、走査位置 $p$ が「 $N_p \times 7/8 \sim N_p \times 1/8$ 」の範囲内または「 $N_p \times 3/8 \sim N_p \times 5/8$ 」の範囲内では、ブロックBKは、走査位置 $p$ が「0」であるときの逆投影方向に長くなるようにし、図6に示す範囲D、すなわち、走査位置 $p$ が「 $N_p \times 1/8 \sim N_p \times 3/8$ 」の範囲内または「 $N_p \times 5/8 \sim N_p \times 7/8$ 」の範囲内では、ブロックBKは、走査位置 $p$ が「 $N_p \times 2/8$ 」であるときの逆投影方向に長くなるようにしている。

【0083】この第2実施例の断層再構成ソフトウェアは、図7に示すように、ブロックBKを、逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させるように構成されており、具体的には、2次元の断層再構成領域Bを、 $2 \times 4$ の逆投影点で構成される長方形のブロックBKに分割し、各ブロックBKごとに逆投影演算を行っていくように構成されている。

【0084】以上、上述した第2実施例では、2次元の断層再構成領域Bを分割したブロックBKを、逆投影方向に長い長方形としているので、従来例や前述の第1実施例に比べて、データアクセス時間を短縮することができ、高速化することができる。さらに、このブロックBKは、逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させるようにして逆投影演算を行っているので、逆投影方向の影響を受けにくい、すなわち、走査各位置からブロックBKを見た場合にその形状が大きく変わらないので計算に使用する $s_0 \sim s_2$ などのデータをはば一定とすることができ、断層再構成計算時間を低減したまま一定とすることができる。つまり、各逆投影方向においても、キャッシュメモリー内のデータ再利用率を一定に確保でき、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0085】<第3実施例>続いて、この発明の請求項4に係る第3実施例のX線CT装置について説明する。第3実施例のX線CT装置は、前述の第1実施例の画像処理部60の断層再構成ソフトウェア以外については、\*

\* 前述の第1実施例と同様であるので、この第3実施例の断層再構成ソフトウェアについて詳細に説明するものとする。

【0086】前述の第1実施例の断層再構成ソフトウェアでは、1つの走査位置分の逆投影演算を正方形のブロックBK毎に行い終えてから、別の走査位置分の逆投影処理に移行していくが、この第3実施例の断層再構成ソフトウェアでは、1つのブロックBKに対して、複数位置分(例えば、最も基本的な例として、2つの走査位置分)の逆投影演算を行ってから、それと同様の複数位置分の逆投影演算を次のブロックBKに対して行うようにしている点が、前述の第1実施例と異なっている。

【0087】つまり、図8に示すように、前述の第1実施例と同じブロックBKに対して、2つの走査位置分の2回目の逆投影を行った後に、隣接する次のブロックBKに対しても同様の2つの走査位置分の2回の逆投影をそれぞれ行っていく、残りのブロックBKについても同様に2回の逆投影を行っていくのである。2回の逆投影は、ある1つの走査位置分の逆投影である「1回目の逆投影」と、別の走査位置分(例えば、前述のある走査位置に隣接する次の走査位置)の逆投影である「2回目の逆投影」を行うことである。なお、図8に示す $s_{00} \sim s_{04}$ は、ある1つの走査位置分の逆投影を行うためのデータ、すなわち、1回目の逆投影のためのデータであり、 $s_{10} \sim s_{14}$ は、前述の1つの走査位置に隣接する次の走査位置分の逆投影を行うためのデータ、すなわち、2回目の逆投影のためのデータである。

【0088】なお、図8からもわかるように、図8に示すブロックBKの逆投影演算には、1回目の逆投影での $s_{00} \sim s_{02}$ (図8に実線で示す)と、2回目の逆投影での $s_{10} \sim s_{12}$ (図8に破線で示す)とが必要であり、 $s_{03}$ 、 $s_{04}$ および $s_{13}$ 、 $s_{14}$ は図8に示すブロックBKでは不必要であるので2点鎖線で図示している。X線検出素子42aで検出された $s_{00} \sim s_{02}$ を補間処理した値をこのブロックBKに逆投影(1回目の逆投影)し、X線検出素子42aで検出された $s_{10} \sim s_{12}$ を補間処理した値をこのブロックBKに逆投影(2回目の逆投影)する。

【0089】この第3実施例の断層再構成ソフトウェアによる断層再構成計算は、以下の式(12)～(19)の順序で行われる。なお、1回目の逆投影についての計算式は、式(12)～式(15)となり、2回目の逆投影についての計算式は、式(16)～式(19)である。

【0090】

$$b(x, y) = b(x, y) + (1 - a_{00}) * s_{00} + a_{00} * s_{01} \quad \dots (12)$$

$$b(x+1, y) = b(x+1, y) + (1 - a_{10}) * s_{01} + a_{10} * s_{02} \quad \dots (13)$$

$$\begin{array}{lcl}
 & 19 & 20 \\
 b(x, y+1) = b(x, y+1) + (1-a_{00}) * s_{00} + a_{00} * s_{01} & & \dots\dots (14) \\
 b(x+1, y+1) = b(x+1, y+1) + (1-a_{10}) * s_{01} + a_{10} * s_{02} & & \dots\dots (15) \\
 \\
 b(x, y) = b(x, y) + (1-a_{00}) * s_{10} + a_{00} * s_{11} & & \dots\dots (16) \\
 b(x+1, y) = b(x+1, y) + (1-a_{10}) * s_{11} + a_{10} * s_{12} & & \dots\dots (17) \\
 b(x, y+1) = b(x, y+1) + (1-a_{00}) * s_{10} + a_{00} * s_{11} & & \dots\dots (18) \\
 b(x+1, y+1) = b(x+1, y+1) + (1-a_{10}) * s_{11} + a_{10} * s_{12} & & \dots\dots (19)
 \end{array}$$

【0091】なお、式(13)のデータs<sub>01</sub>、式(14)のデータs<sub>00</sub>、s<sub>01</sub>、式(15)のデータs<sub>01</sub>、s<sub>02</sub>、および、式(17)のデータs<sub>11</sub>、式(18)のデータs<sub>10</sub>、s<sub>11</sub>、式(19)のデータs<sub>11</sub>、s<sub>12</sub>は、キャッシュメモリ内から読み出されるデータである。また、実施例1、2ではbの一部がキャッシュされないとしたが、本実施例3ではbが連続して必要とされるのでキャッシュされるbがある。式(12)の左辺のデータb(x, y)、式(13)の左辺のデータb(x+1, y)、式(14)の左辺のデータb(x, y+1)、式(15)の左辺のデータb(x+1, y+1)、および、式(16)の右辺のデータb(x, y)、式(17)の右辺のデータb(x+1, y)、式(18)の右辺のデータb(x, y+1)、式(19)の右辺のデータb(x+1, y+1)がキャッシュメモリ内にある。

【0093】ただし、式(16)の左辺のデータb(x, y)、式(17)の左辺のデータb(x+1, y)、式(18)の左辺のデータb(x, y+1)、式(19)の左辺のデータb(x+1, y+1)の書き出しもキャッシュされるが、これらは結果としていずれメモリに書き出さなければならないのでキャッシュされないとする。

【0094】この第3実施例でのデータのアクセス回数は、bの読み込みが8回で、同じデータの読み込みが4回あり、キャッシュメモリから読み出される。bの書き出しが8回で、同じデータの書き出しが4回あり、キャッシュメモリから読み出される。sの読み込みが16回で、そのうち同じデータの読み込みは10回ありキャッシュメモリから読み出される。従って、データアクセス時間は以下のように求められる。

【0095】データアクセス時間 = 5 nsec / float × (4回 + 4回) + 1.25 nsec / float × (4回 + 4回) + 5 nsec / float × (16回 - 10回) + 1.25 nsec / float × 10回 = 92.5 nsec

1点あたりに換算するとデータアクセス時間 = 92.5 nsec / 4 = 23.125 nsec

【0096】従来例での4点への2回の逆投影を1点あたりに換算すると、データアクセス時間 = 2 × 68.75 nsec / 4 = 34.375 nsec

【0097】上述した第3実施例と従来例とのデータアクセス時間の算出結果より、この第3実施例では、従来例と比べて、34.375 / 23.125 = 1.5倍高速にアクセスできたことになり、高速化されていることがわかる。

【0098】さらに、前述の第1実施例の正方形のブロックBK（逆投影点が4点である）でのデータアクセス時間は、61.25 nsecであったので、逆投影を2回行う場合のデータアクセス時間は、61.25 nsec × 2 = 122.5 nsecとなるので、この第3実施例では、前述の第1実施例と比べて、122.5 / 92.5 = 1.32倍高速にアクセスできたことになり、前述の第1実施例よりも高速化されていることがわかる。

【0099】以上、上述した第3実施例では、1つのブロックBKに対して、走査各位置のうちの複数位置分の逆投影演算を行ってから、それと同様の逆投影演算を次のブロックBKに対して行うので、従来例や前述の第1実施例に比べて、さらに、キャッシュメモリ内のデータ再利用率を増加させることができ、データアクセス時間を短縮することができ、断層再構成計算時間を短縮でき、高速化することができる。

【0100】なお、逆投影の順番は走査位置順に連続した順とした方が好ましいが、1つ飛ばしの順などはほぼ近い投影角の逆投影を連続して行っても、前述と同様の効果がある。さらに、180度反対方向近辺の逆投影を連続して行っても同等の効果がある。

【0101】この発明は、上記各実施例に限られるものではなく、下記のように変形実施することができる。

【0102】(1) 上述の各実施例では、ブロックBKの形状を正方形あるいは長方形としているが、請求項3にあるように、三角形やひし形や台形などこれら以外の多角形としても良い。

【0103】(2) 上述の各実施例では、断層再構成領域Bを分割したブロックBKを全て同一形状としている

が、ブロックBKの形状を請求項5のように、断層再構成領域Bの中心部とその周辺部とで大きさが異なるようにしても良い。例えば、断層再構成領域Bを同じ大きさのブロックBKに分割した場合、X線焦点位置から遠いほど、逆投影に必要なブロックBK当たりの撮影データ（投影元データ）数が減ってくる（粗密になる）。従って、必要なキャッシュメモリーサイズが変化するため、ブロックBK位置により逆投影演算時間が増加する。そこで、図9に示すように、二次元ファンビームの断層再構成領域Bの周辺から中心に向かって、大きさが1×1のブロックBK a、大きさが2×2のブロックBK b、回転中心を含む大きさが4×4ブロックBK cのような大きさの異なるブロックBK a～BK cに分割して逆投影すれば良い。再構成領域Bの中心に回転中心があることを考慮すれば、ブロックサイズは回転中心からの距離の2乗に反比例させるか、又は、距離に反比例させるようにする。なお、図9では正方形で大きさの異なるブロックとしているが、形状と大きさが異なるブロックに分割しても良い。こうすることで、断層再構成領域Bのブロック位置によって必要なキャッシュメモリーサイズが変化して、逆投影演算時間が増加することを低減でき、断層再構成時間をブロック位置に依らずほぼ一定に短縮できる。

【0104】（3）上述の各実施例では、X線検出器42のX線検出素子42aのピッチを幾何学的倍率（＝X線管41の焦点からX線検出器42間の距離／X線管41の焦点から回転中心間の距離）で割った回転中心での検出器画素ピッチを再構成点ピッチ（＝1／画素密度）とする「等倍再構成」としている。これに対し、断層再構成領域B内の点数を $m \times m$ 倍拡大することで、逆投影点が $n \times n$ である断層再構成領域Bを、逆投影点が $(m \times n) \times (m \times n)$ である拡大断層再構成領域BBとする「拡大再構成」を行うこともある。例えば、図10は、逆投影点が $n \times n$ である断層再構成領域Bを2×2倍に拡大して、逆投影点が $2n \times 2n$ である拡大断層再構成領域BBの例を示す模式図である。図10に示すように、円内に斜線が引かれた円が元の逆投影点つまり、前述の断層再構成領域Bの $n \times n$ の逆投影点であり、破線円が拡大再構成BBで増えた逆投影点で、2点鎖線で囲まれた領域が分割ブロックBKである。分割ブロックBK内の逆投影点の数が4点から16点に増加しているが、投影元データsは同じでs0～s2のみを逆投影に使用するので、キャッシュ効果が高くなり、断層再構成計算を高速に行うことができる。これは請求項9の有効性を示すものである。

【0105】（4）上述の各実施例では、フィルター処理後の撮影データを補間して断層再構成領域BのブロックBKに逆投影する逆投影演算を行っているが、請求項8にあるように、フィルター処理後の撮影データを、補間を行わずそのままブロックBKに逆投影する逆投影演

算を行うようにしても良い。この場合、補間用データの読み込み回数と補間演算が省略できるので高速に処理できる上に、読み込みデータが減少する分に相当するより大きなブロック化が可能で、断層再構成計算を高速処理することができる。

【0106】（5）上述の各実施例では、撮影部40は、ファンビーム形状のX線束を被検体Mに照射するX線管41と、1次元のX線検出器42とを備えているが、この撮影部40を、コーンビーム形状のX線束を被検体Mに照射するようにするとともに、1.1管やフラットパネル型X線検出器など各種の2次元面検出器を備え、これらを同期させて走査するように構成し、走査各位置で検出された撮影データ（2次元状のX線透過データ）を元に、撮影された被検体Mの関心領域に仮想的に設定される3次元の断層再構成領域に逆投影する断層再構成ソフトウェアにおいて、逆投影演算を、その3次元の断層再構成領域を分割した分割領域（3次元のブロック）毎に行うようにすれば、高速に3次元の再構成を行うことができる。理由は2次元の各実施例と同じである。この3次元のブロックは、例えば、立方体、直方体、三角錐、円錐またはこれら以外の立体形状とすれば良い。こうすることで、3次元の断層再構成領域に逆投影する逆投影演算（3次元の断層再構成計算）を高速化できる。

【0107】（6）上述の各実施例の断層再構成ソフトウェアや断層撮影装置は、被検体Mを人体などとする医療用CT装置や、被検体Mにおける任意の点を常にX線検出器の所定点に投影されるようにX線管とX線検出器とを同期走査（平行直線移動など）する、いわゆる医療用断層撮影装置などに用いることもできるし、被検体Mをプリント配線基板など各種の電子部品などとする非破壊検査装置にも用いることもできる。

【0108】（7）上述の各実施例では、X線管によってX線を被検体Mに照射しているが、X線に限らず、被検体Mに対して透過性を有する例えば、ガンマ線、光、電子線などの電磁波を用いた場合であっても、同様の効果を有する。したがって、この発明の断層撮影装置は、X線断層撮影装置に限定されるものではなく、X線以外で被検体Mに対して透過性を有する電磁波を用いて断層撮影を行う断層撮影装置にも適用可能である。

【0109】（8）上述の各実施例では、走査各位置で検出された撮影データをフィルター処理した後のデータを断層再構成領域に逆投影する逆投影演算の場合について説明しているが、走査各位置で検出された撮影データをフィルター処理せずにそのまま断層再構成領域に逆投影する逆投影演算の場合にも適用できる。

【0110】（9）上述の各実施例では、被検体の体軸周りの360度分の撮影データにより再構成する場合について説明してきたが、360度の再構成以外、つまり360度未満分の撮影データなどにより再構成する場合

にも適用でき、逆投影全般に適用できる。

【0111】(10)請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを、コンピュータ読み取り可能な記録媒体(磁気ディスクや光磁気ディスクなどの各種の記録媒体)に記録してもよい。この記録媒体を、必要とするコンピュータなどの処理演算装置にロードすることで、その処理演算装置での断層再構成計算を高速化することができ、この高速化した断層再構成ソフトウェアの供給の自由度を向上させることができる。

【0112】

【発明の効果】以上の説明からも明らかなように、請求項1に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、走査各位置で検出された撮影データまたはそれをフィルター処理した後のデータを、被検体の関心領域に仮想的に設定される2次元または3次元の断層再構成領域に逆投影する逆投影演算(断層再構成計算)を、その断層再構成領域を分割した分割領域毎にコンピュータに実行させていくので、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域(分割領域)毎に順番に行っていくことができ、キャッシュメモリー内のデータ再利用率を増加させることができ、メモリーとのデータアクセスを減少させることができ、断層再構成のためのデータ転送時間合計を短縮でき、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0113】また、請求項2に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、分割領域は、2次元の断層再構成領域の場合には、正方形、長方形、三角形、ひし形、台形またはこれら以外の多角形状とし、3次元の断層再構成領域の場合には、立方体、直方体、三角錐、円錐またはこれら以外の立体形状とするので、分割領域を、キャッシュサイズを考慮した適切な形状に設定できる。

【0114】また、請求項3に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、分割領域は、逆投影方向に応じて、逆投影方向に長くなるようにその向きを変化させるので、各逆投影方向においても、キャッシュメモリー内のデータ再利用率がほぼ一定に確保でき、断層再構成計算時間が短縮できる。

【0115】また、請求項4に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、個々の分割領域に対して、全走査各位置のうちの複数位置分の撮影データを連続して逆投影演算するので、断層再構成領域の分割領域に、複数枚の撮影データの分割領域に対応する部分を逆投影していくことができ、キャッシュメモリー内のデータ再利用率をさらに増加させることができ、さらに断層再構成計算時間を短縮できる。

【0116】また、請求項5に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、分割領域は、断層再構成領域の中心部とその周辺部とで大きさが異なるようにしているので、断層再構成領域の分割領域位置によって必要なキャッシュメモリーサイズが極端に増大して、逆投影演算時間が極端に増大することを低減でき、断層再構成時間を分割

領域位置に依らずほぼ一定に短縮できる。

【0117】また、請求項6に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、分割領域を隣接する順に連続して逆投影を行っていくので、キャッシュメモリー内のデータ再利用率をさらに増加させることができ、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0118】また、請求項7に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、分割領域内における複数の逆投影点を、隣接する順に連続して逆投影していくので、好適な順番で断層再構成計算が行われ、キャッシュメモリー内のデータ再利用率を確保させることができ断層再構成計算時間を短縮できる。

【0119】また、請求項8に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、撮影データをフィルター処理した後、補間を行わずそのまま分割領域に逆投影する場合でも、断層再構成計算時間を短縮できる。

【0120】また、請求項9に記載の断層再構成ソフトウェアによれば、断層再構成領域の画素密度が、回転中心での検出器画素密度よりも高密度になるように細分化した拡大断層再構成領域としているので、拡大断層再構成領域を分割した分割領域内の逆投影点数は増えることになるが、取り扱う撮影データ、つまり、撮影データの分割領域に対応する部分のデータは同じで増加しないし、このデータを用いて増加させた逆投影点にも逆投影していくので、キャッシュ効果が高くなり、断層再構成計算を高速に行なうことができる。

【0121】また、請求項10に記載の断層撮影装置によれば、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを用いて逆投影演算を行なうことで、関心領域の2次元または3次元の再構成画像を生成するので、逆投影演算(断層再構成計算)を分割領域毎に行っていく、つまり、断層再構成計算をキャッシュサイズを考慮した最適な領域(分割領域)毎に順番に行っていくことができ、キャッシュメモリー内のデータ再利用率を増加させることができ、メモリーとのデータアクセスを減少させることができ、断層再構成のためのデータ転送時間合計が短縮され、断層再構成計算時間が短縮され、断層再構成計算を高速化した断層撮影装置が得られる。

【0122】また、請求項11に記載の記録媒体によれば、請求項1から請求項9のいずれかに記載の断層再構成ソフトウェアを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体としているので、この記憶媒体を、必要とするコンピュータなどの処理演算装置にロードすることで、断層再構成計算を高速化することができ、この高速化した断層再構成ソフトウェアの供給の自由度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明のX線断層撮影装置の第1実施例に係るブロック図である。

【図2】(a)はX線断層撮影装置の撮影部の一例を示す模式図であり、(b)は(a)に示した撮影部の外観を示す概略斜視図である。

【図3】(a)、(b)は第1実施例に係る断層再構成ソフトウェアによって撮影データを2次元の断層再構成領域に逆投影する様子を説明するための模式図である。

【図4】(a)は2次元の断層再構成領域を示す模式図であり、(b)は第1実施例に係る断層再構成ソフトウェアの要部を示すプログラムコードである。

【図5】(a)、(b)は第2実施例に係る断層再構成ソフトウェアによって撮影データを2次元の断層再構成領域に逆投影する様子を説明するための模式図である。

【図6】第2実施例の長方形のブロックが逆投影方向に応じて変化することを説明するための模式図である。

【図7】第2実施例に係る断層再構成ソフトウェアの要部を示すプログラムコードである。

【図8】第3実施例に係る断層再構成ソフトウェアによって撮影データを2次元の断層再構成領域に逆投影する様子を説明するための模式図である。

【図9】中心部とその周辺部とで大きさが異なるブロックで2次元の断層再構成領域を分割することを説明する\*

\* ための模式図である。

【図10】拡大断層再構成領域に逆投影することを説明するための模式図である。

【図11】断層再構成領域に逆投影することを説明するための模式図である。

【図12】X線検出器で検出したデータを補間処理することを説明するための説明図である。

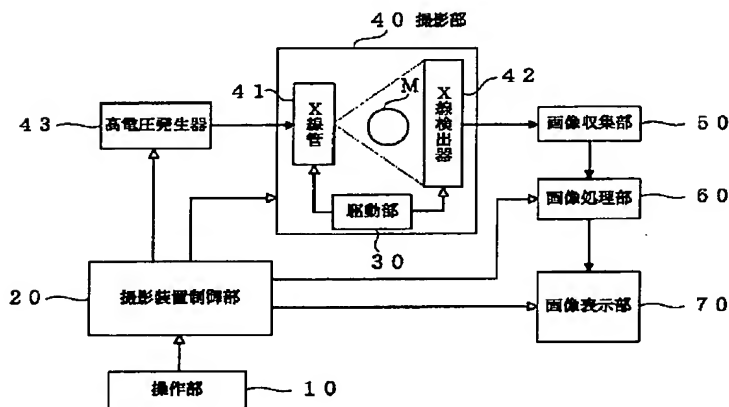
【図13】従来の断層再構成ソフトウェアの要部を示すプログラムコードである。

【図14】従来における撮影データを2次元の断層再構成領域に逆投影する様子を説明するための模式図である。

【符号の説明】

- 41 … X線管
- 42 … X線検出器
- 60 … 画像処理部
- B … 断層再構成領域
- BB … 拡大断層再構成領域
- BK … ブロック
- M … 被検体
- f … X線焦点

【図1】



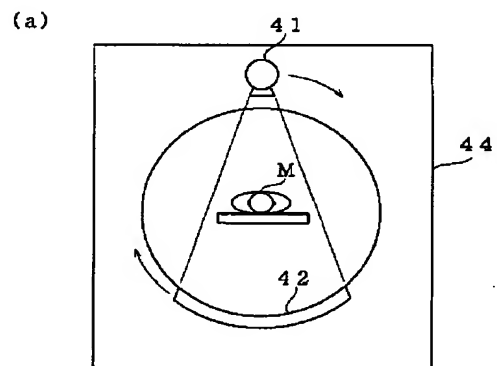
【図7】

```

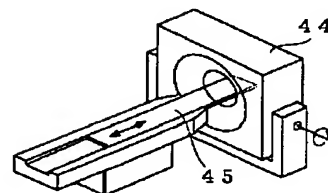
BB=2;
for(p=0;p<Np;p++){
  if((p<Np/8)||((Np*3/8<p)&&(p<Np*5/8<p)|| (Np*7/8<p))){
    Bx=2; By=BB*Bx; .....(C)
  }else{p<Np/2){
    Bx=2; By=BB*By; .....(D)
  }
  for(yb=0;yb<Ny;yb+=By){
    for(xb=0;xb<Nx;xb+=Bx){
      for(y=yb;y<(yb+By);y++){
        for(x=xb;x<(xb+Bx);x++){
          u=INT(t(p,y,x,par));
          a=t(x,y,par)-u;
          b[y][x]=b[y][x]+(1.0-a)*s[p][u]+a*s[p][u+1];
        }
      }
    }
  }
}

```

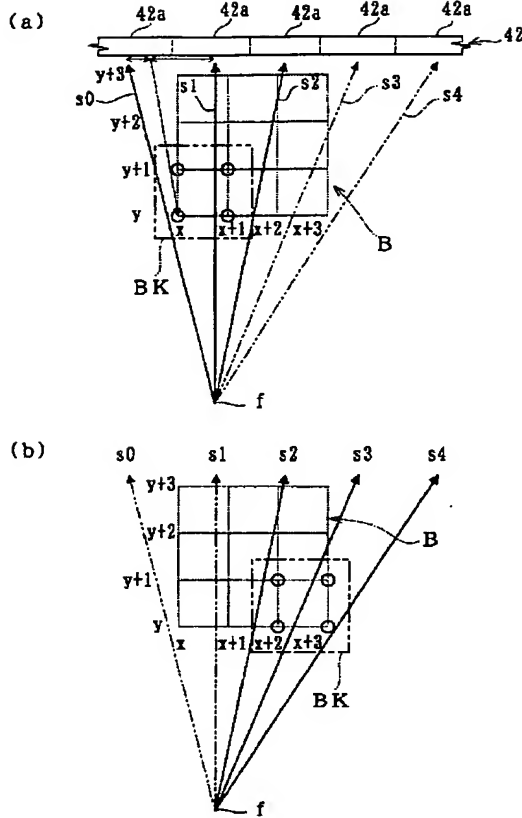
【図2】



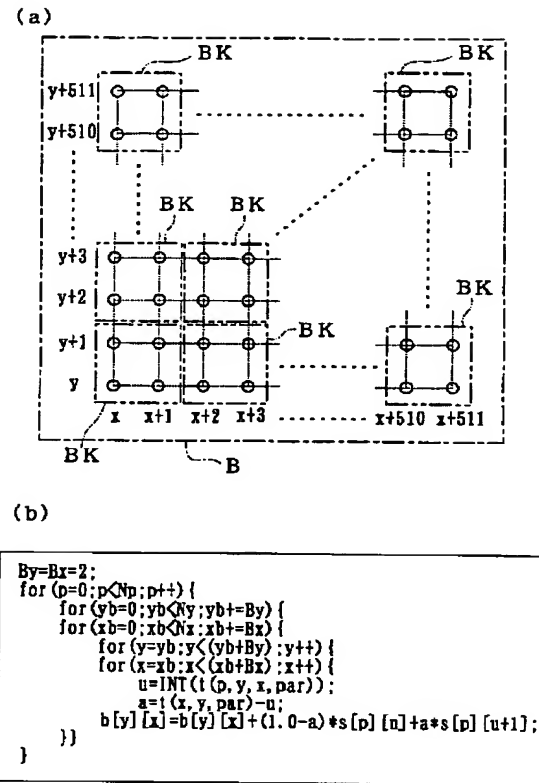
(b)



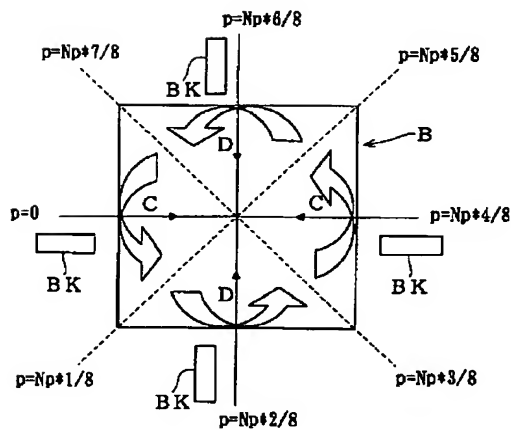
【図3】



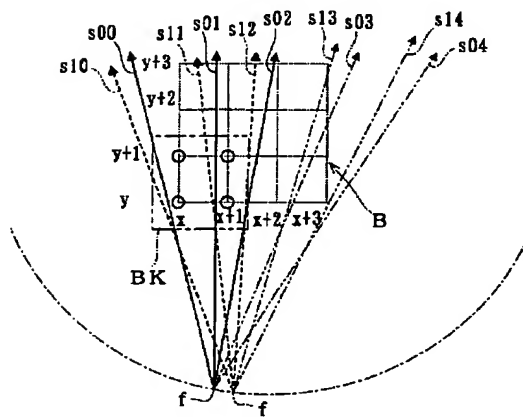
【図4】



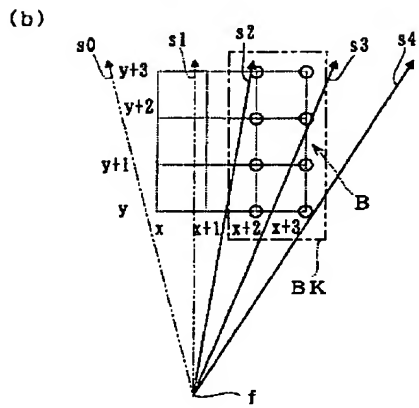
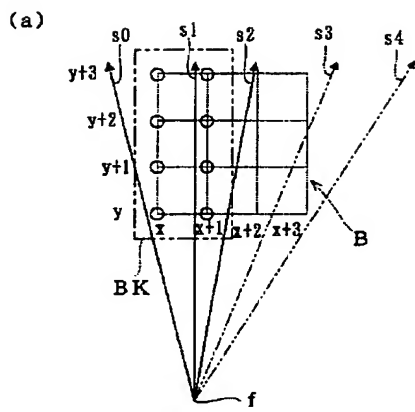
【図6】



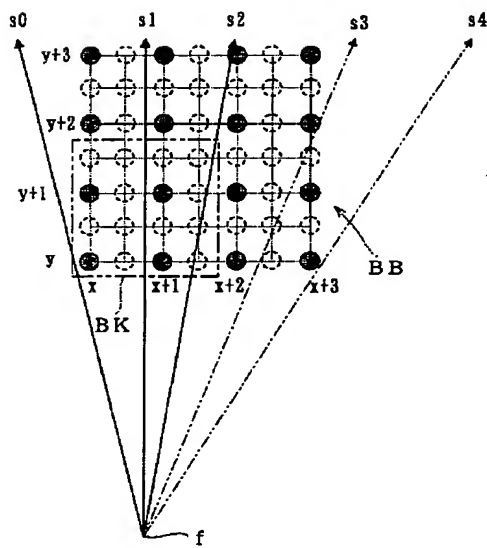
【図8】



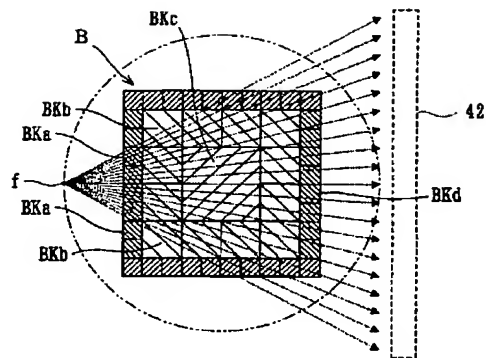
【図5】



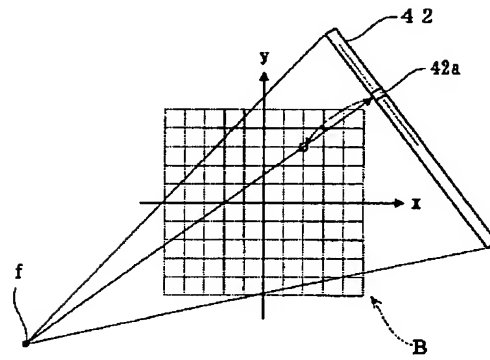
【図10】



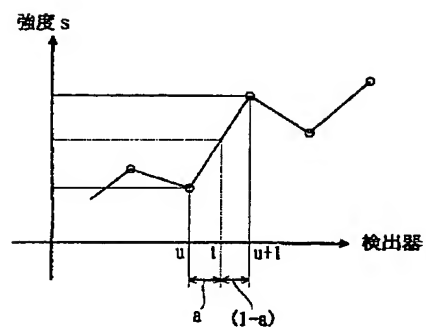
【図9】



【図11】



【図12】



【図13】

```

for (p=0; p<Np; p++) {
  for (y=0; y<Ny; y++) {
    for (x=0; x<Nx; x++) {
      u=INT(t(d, y, x, par));
      a=t(x, y, par)-u;
      b[y][x]=b[y][x]+(1.0-a)*s[p][u]+a*s[p][u+1];
    }
  }
}

```

【図14】

